

贵州遵义镍-钼富集层中独居石的发现及成因意义

陈益平¹, 潘家永^{1,2}, 胡凯², 郭国林¹, 严兆彬¹, 凡秀君¹

(1. 东华理工大学核资源与环境教育部重点实验室, 江西 南昌 330013; 2. 南京大学壳幔演化与成矿作用国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

摘要:对贵州遵义天鹅山-黄家湾镍-钼富集层中镍-钼矿石进行了电子探针研究,在镍-钼矿石中发现了稀土独立矿物——独居石,呈不规则的细粒、蠕虫状分布于矿石中,并与镍、钼的独立矿物共生;独居石 La 和 Ce 的含量高(La_2O_3 含量变化范围为 25.70%~30.52%, Ce_2O_3 含量变化范围为 22.96%~27.68%),贫 Sm、Th(Sm_2O_3 含量的变化范围为 0.49%~0.80%, ThO_2 含量的变化范围为 0%~0.19%),具有热液成因独居石的化学成分特征。镍-钼矿石中稀土矿物独居石的发现为镍-钼矿层的热液成因提供了直接的矿物学证据。

关键词:镍-钼富集层;独居石;黑色岩系;贵州;遵义

中图分类号:P578.92;P618.6

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2007)04-0340-05

Discovery of monazite in the Ni-Mo sulfide layer of Zunyi, Guizhou Province, and its genetic significance

CHEN Yi-ping¹, PAN Jia-yong^{1,2}, Hu Kai², GUO Guo-lin¹, YAN Zhao-bin¹
and FAN Xiu-jun¹

(1. Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, Ministry of Education, East China Institute of Technology, Nanchang, 330013, China; 2. State Key Laboratory for Mineral Deposit Research, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: A REE-bearing mineral, i. e., monazite, was discovered in the Ni-Mo ore from the Tian'eshan-Huangjiawan Ni-Mo sulfide layer of Zunyi, Guizhou Province, on the basis of electron microprobe analysis. The monazite is distributed as fine scattered particles and vermicular aggregates in the Ni-Mo ore, coexistent with Ni- and Mo-bearing minerals. High La and Ce contents (La_2O_3 : 25.70%~30.52%, Ce_2O_3 : 22.96%~27.68%) and low Sm and Th contents (Sm_2O_3 : 0.49%~0.80%, ThO_2 : 0%~0.19%) of the monazite show the characteristics of hydrothermal generated monazite.

Key words: Ni-Mo sulfide layer; monazite; black rock serials; Guizhou; Zunyi

早寒武世早期,华南沿扬子地台西南缘沉积了一套以页岩、泥岩和硅质岩为主的黑色岩系,其分布范围西起云、贵、川,东至苏、浙、皖,总面积超过 500 000 km²,在空间上呈 NE-SW 延伸的狭长带状分布,长达 1 600 km(Fan *et al.*, 1984)。黑色岩系底部富集 Ni、Mo、V、U 等元素,但只有部分地点形

成镍-钼硫化物矿体,其中最主要的两个镍-钼矿带是贵州遵义地区天鹅山-黄家湾镍-钼矿带与湖南张家界地区大坪-大浒镍-钼矿带,矿体较薄,一般厚度在 5~30 cm 之间,Ni 与 Mo 的平均品位分别为 3.5%和 5.6%(毛景文等,2001),含镍矿物有方硫镍矿、硫铁镍矿、硫镍矿、针镍矿、辉砷镍矿等,钼主要

以碳硫钼矿的形式存在(Steiner *et al.*, 2001; Kao *et al.*, 2001; 潘家永等, 2005)。国内外学者对华南下寒武统镍-钼多金属富集层的成因进行了一系列的探讨,但其矿床成因仍存在争议,代表性的成因观点有3种:①陨石撞击成因(Fan *et al.*, 1984),但这一观点已被越来越多的学者所否定(Coveney *et al.*, 1992; Lott *et al.*, 1999);②热水沉积作用导致多金属富集层的形成,目前越来越多的学者倾向于这一观点(Lott *et al.*, 1999; Steiner *et al.*, 2001; Pan *et al.*, 2004; 丁佑良等, 1997; 彭军等, 1999; 吴朝东等, 1999; 方维萱等, 2002; 曹双林等, 2004);③封闭半封闭的海洋沉积作用下形成(Mao *et al.*, 2002)。

华南地区下寒武统黑色页岩中的 Ni-Mo 金属富集层代表一种典型缺氧事件下的成矿作用,已经在多个地段发现具有工业价值的矿层。在地质特征及地球化学方面已经有一些学者进行了不同程度的研究,但矿物学方面的研究较薄弱。查明该类型矿石的矿物组成、共生关系、成矿元素的存在形式,不仅对探讨矿床成因和成矿规律有重要的理论意义,而且对该类矿床的开发利用具有重要的实际意义。最近,笔者在贵州遵义地区天鹅山-黄家湾镍-钼矿带黄家湾矿区的镍-钼矿石中发现了稀土矿物,本文报道这一成果,并对稀土矿物独居石的成因进行探讨。

1 地质背景

贵州遵义天鹅山-黄家湾镍-钼矿带位于由下寒武统形成翼部的松林穹隆构造的北东翼和南西翼,穹隆构造范围内主要出露的地层有上震旦统灯影组白云岩和下寒武统黑色岩系。该矿带主要由黄家湾、天鹅山、新土沟3个矿区组成(图1)。矿区内无岩浆岩出露。黄家湾矿区位于遵义西20~25 km,东起米筛井、经杉树村、南官坝,转向NW向延伸至山木垭,延伸长度达10 km,矿区面积约20 km²。矿区所处的穹状背斜南西翼地质构造简单,为一向南缓倾的单斜构造,地层倾角15°~18°,次级褶皱不发育,仅见矿区中段有一NNW向断层,区内无其他更显著的控矿或严重破坏矿层的大型断裂。本文研究样品主要采自天鹅山-黄家湾镍-钼矿带的黄家湾矿点。遵义黄家湾矿点矿层较厚(一般10~30 cm),规模大,品位较高(Ni与Mo的平均品位分别为3.5%、

5.6%) (毛景文等, 2001)。下寒武统黑色岩系下伏地层为灯影组白云岩,两者呈不整合接触,接触面有一层5~10 cm厚的风化层,风化层上为含磷结核硅质页岩与碳质页岩(约2 m),再往上为镍-钼矿层(5~30 cm),矿体呈层状、似层状及透镜状产出,矿体顶板围岩为碳质页岩与碳质泥岩。镍-钼矿石样品取自新鲜岩石露头或采石场,取样间距随岩性厚度变化而有所不同,多数为0.5~2 m。矿石为灰黑色,金属硫化物呈纹层状分布,含碳高,污手,主要的矿石矿物是黄铁矿及镍与钼的硫化物。矿石中主要金属硫化物常构成胶状构造和条带状构造,其中条带状构造由胶状硫化物组成,即黄铁矿呈胶状。矿物主要呈细粒状或团块状分布在矿石中。

2 分析方法与结果

2.1 显微镜观察

将镍-钼矿石样品磨制成电子探针片在显微镜下仔细观察,发现有少量可能的稀土矿物呈分散细粒状、半自形-他形板状、蠕虫状、团粒状集合体赋存在矿石之中,无色透明,正突起很高,糙面显著,正交偏光下双折射率很高,干涉色从三级中部至四级开始。

2.2 电子探针分析

电子探针分析在东华理工学院核资源与环境教育部重点实验室电子探针实验室进行,电子探针型号为JXA-8100,加速电压为15.0 kV,电流为1.00 E-8 A,束斑大小为1 μm,能谱型号为Inca ENER-GY。

电子探针成分分析结果(表1)显示,镍-钼矿石中含有稀土矿物,这些矿物的主要化学成分是La₂O₃(25.70%~30.52%),Ce₂O₃(22.96%~27.68%),P₂O₅(26.59%~37.56%),Nd₂O₃(5.73%~6.97%),Pr₂O₃(6.10%~7.27%),另外还含有Gd、Th等微量成分。矿物成分中稀土氧化物含量可达64%~72%,根据成分计算的化学分子式与独居石一致,表明这种稀土矿物为独居石(表1)。

电子探针图像分析结果表明,独居石晶形细小,大小在5~50 μm之间,以分散细粒状、半自形-他形板状、蠕虫状、团粒状集合体赋存在矿石之中(图2)。

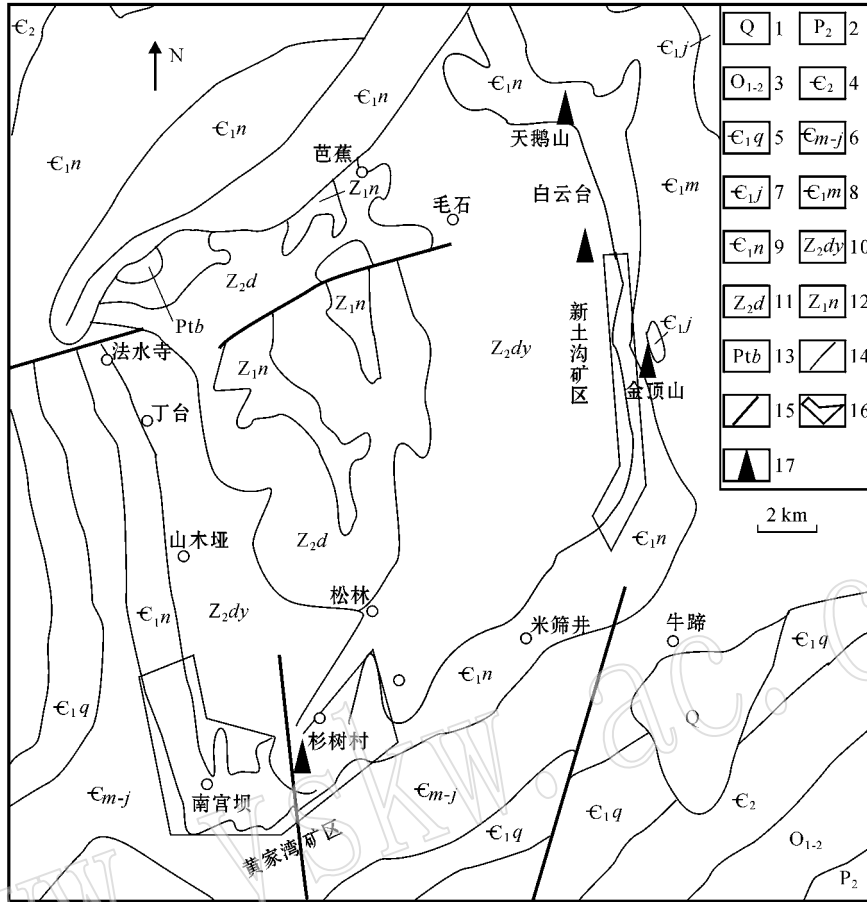


图 1 贵州遵义天鹅山-黄家湾镍-钼矿带地质略图 [据罗泰义等(2003)修改]

Fig. 1 Geological sketch map of the Tian'eshan-Huangjiawan Ni-Mo sulfide layer, Zunyi, Guizhou Province (modified by Luo

Taiyi et al., 2003)

- 1—第四系 2—上二叠统 3—中下奥陶统 4—中寒武统 5—下寒武统清虚洞组 6—下寒武统明心寺组与金顶山组并层 7—金顶山组 8—明心寺组 9—牛蹄塘组 10—震旦系灯影组 11—陡山沱组 12—南沱组 13—下元古界板溪群 14—地层界线 15—断层 16—镍钼矿化带 17—采样点

- 1—Quaternary 2—Upper Triassic ; 3—Lower and Middle Ordovician ; 4—Middle Cambrian ; 5—Lower Cambrian Qingxudong Formation ; 6—Lower Cambrian Mingxinsi Formation and Jindingshan Formation ; 7—Jindingshan Formation ; 8—Mingxinsi Formation ; 9—Niutitang Formation ; 10—Sinian Dengying Formation ; 11—Doushantuo Formation ; 12—Nantuo Formation ; 13—Paleoproterozoic Banxi Group ; 14—stratigraphic boundary ; 15—fault ; 16—Ni-Mo mineralized belt ; 17—sampling point

表 1 贵州遵义镍-钼矿石中独居石的电子探针分析结果

wt%/

Table 1 EPMA results of monazite from Ni-Mo ores of Zunyi

样品号	P ₂ O ₅	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	ThO ₂	总量	化学式
ZY-6-1	31.22	27.68	29.99	6.81	7.07	0.52	0	103.29	(La _{0.42} Ce _{0.38} Pr _{0.11} Nd _{0.10})PO ₄
ZY-2-1	27.15	24.53	28.67	6.03	6.85	0.49	0.06	93.78	(La _{0.46} Ce _{0.39} Pr _{0.11} Nd _{0.09})PO ₄
ZY-2-3	26.59	26.07	28.99	6.97	7.05	0.58	0.04	96.29	(La _{0.47} Ce _{0.42} Pr _{0.11} Nd _{0.11})PO ₄
ZY-9-4	37.56	22.96	28.50	6.05	7.27	0.52	0	102.86	(La _{0.33} Ce _{0.26} Pr _{0.08} Nd _{0.07})PO ₄
ZY-7-1	27.03	24.31	30.52	5.73	6.69	0.80	0.09	95.17	(La _{0.49} Ce _{0.36} Pr _{0.10} Nd _{0.08})PO ₄
ZY-3-3	29.78	22.97	28.76	5.99	6.54	0.67	0.04	94.75	(La _{0.42} Ce _{0.33} Pr _{0.09} Nd _{0.08})PO ₄
ZY-4-1	27.90	25.53	25.70	6.39	6.10	0.61	0.19	92.42	(La _{0.40} Ce _{0.40} Nd _{0.10} Pr _{0.09})PO ₄
ZY-10-1	27.47	24.54	28.22	5.86	6.39	0.52	0.06	93.06	(La _{0.45} Ce _{0.37} Pr _{0.10} Nd _{0.09})PO ₄

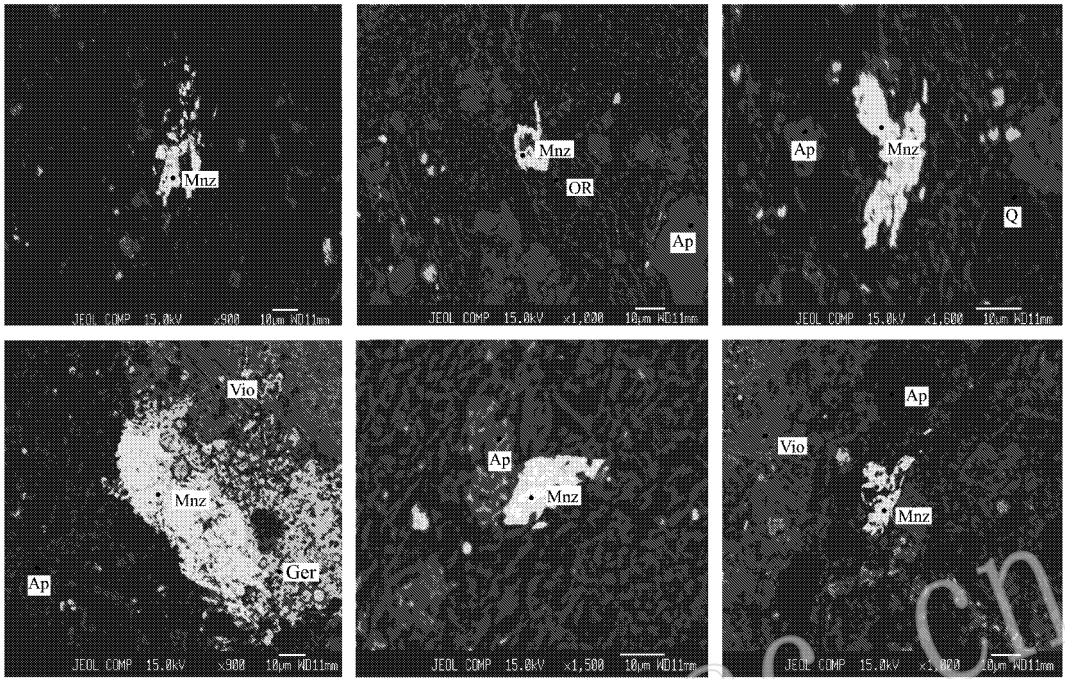


图2 贵州遵义镍-钼矿石中独居石的电子探针背散射图像

Fig. 2 Backscattered electron images of monazite in Ni-Mo ores of Zunyi

Mnz—独居石; Ap—磷灰石; Vio—紫硫镍矿; Ger—辉砷镍矿; OR—正长石; Q—石英

Mnz—monazite; Ap—apatite; Vio—violarite; Ger—gersdorffite; OR—orthoclase; Q—quartz

3 独居石的成因意义

独居石常常产在岩浆岩、变质岩和碎屑沉积岩中,热液交代作用也可以形成独居石。热液型独居石与产在岩浆岩、变质岩和砂岩中具短柱形态的独居石的晶形不同。热液型独居石呈不规则集合体形态,结晶个体非常细小,5~60 µm不等,一般多为10~20 µm,并常常含有细小的石英、云母、绿泥石等包体(孙国曦等,2002;宋天锐等,2003)。不同成因的独居石的化学成分存在明显的差异。热液成因的独居石La和Ce含量高(La+Ce>40%),Th、Sm含量低(Th与Sm含量均低于1%),而产于花岗岩与伟晶岩中的独居石La和Ce含量低(La<5%,Ce<20%),Sm、Th含量高(Sm>5%,Th>6%) (洪文兴等,2000)。

本文镍-钼矿石中的独居石呈不规则的细粒、蠕虫状分布于矿石中,结晶个体细小,一般5~50 µm。有些独居石颗粒分布在镍钼矿物的边缘,有些呈分散细粒状分布在镍、钼矿物中(图2)。独居石与镍、钼的独立矿物共生表明这些矿物是同一成矿阶段的产物。镍-钼矿石中的独居石La和Ce的含量很高

(La₂O₃含量为25.70%~30.52%,Ce₂O₃含量为22.96%~27.68%),贫Sm、Th(Sm₂O₃含量为0.49%~0.80%,ThO₂含量为0%~0.19%),具有热液成因独居石的化学成分特征。综上所述,该独居石应为热液成因的产物。镍-钼矿石中稀土矿物独居石的发现为该矿区镍-钼矿层的热液成因提供了直接的矿物学证据。

4 结论

(1)在贵州遵义镍-钼矿石中发现一种稀土独立矿物——独居石。

(2)电子探针图像分析表明独居石晶体主要以分散细粒状、半自形-他形板状、蠕虫状、团粒状集合体赋存在矿石之中。独居石与镍、钼的独立矿物共生表明这些矿物是同一成矿阶段的产物。

(3)镍钼矿石中的独居石富La、Ce,贫Sm、Th,具有热液成因独居石的化学成分特征。镍-钼矿石中稀土矿物独居石的发现为镍-钼矿层的热液成因提供了直接的矿物学证据。

References

- Coveney R M, Murowchick J B, Grauch R I, *et al.* 1992. Field relations origins and resource implications for platiniferous molybdenum-nickel ores in black shales of south China[J]. *Explor. Mining Geol.*, 1(1):21~28.
- Cao Shuanglin, Pan Jiayong, Ma Dongsheng, *et al.* 2004. Trace element geochemistry of the Lower Cambrian black rock series from western Hunan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 24(4):415~419(in Chinese with English abstract).
- Ding Youliang and Li Youyu. 1997. Elements Association and Geochemistry of Trace Elements of Ni-Mo Polymetallic Deposits in North-western Hunan[J]. *Hunnan Geology*, 16(2):98~100(in Chinese with English abstract).
- Fang Weixuan, Hu Ruizhong, Su Wenchao, *et al.* 2002. Geochemical characteristics of Dahebian-Gongxi superlarge barite deposits and analysis on its background of tectonic geology, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2):247~256(in Chinese with English abstract).
- Fan D L, Yang R Y and Huang Z X. 1984. The lower Cambrian black shale series and the iridium anomaly in south China[A]. *Developments in Geosciences*[C]. Beijing: Science Press, 215~224.
- Hong Wenxing and Zhu Xiangkun. 2000. A microanalysis study on monazite composition distribution[J]. *Geological Journal of China Universities*, 6(2):167~172(in Chinese with English abstract).
- Kao L S, Peacor D R, Coveney R M, *et al.* 2001. A C/MoS_2 mixed-layer phase ($MoSC$) occurring in metalliferous black shales from southern China, and new data on jordisite[J]. *American Mineralogist*, 86:852~861.
- Luo Taiyi and Zhang Huan. 2003. Mineralization characteristics of the multi-element-rich strata in the Niutitang Formation black shale series Zunyi, Guizhou, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 23(4):296~302(in Chinese with English abstract).
- Lott D A, Coveney R M, Murowchick J B *et al.* 1999. Sedimentary exhalative Nickel-Molybdenum ores in south China[J]. *Econ. Geol.*, 94:1051~1066.
- Mao J W, Lehmann B, Du A D *et al.* 2002. Re-Os dating of polymetallic Ni-Mo-PGE-Au mineralization in Lower Cambrian black shales of South China and its geological significance[J]. *Economic Geology*, 97:1051~1061.
- Mao Jingwen, Zhang Guangdi, Du Andao, *et al.* 2001. Geology, geochemistry and Re-Os isotopic dating of the Huangjiawan Ni-Mo-PGE deposit, Zunyi, Guizhou Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(2):234~242(in Chinese with English abstract).
- Pan J Y, Ma D S and Cao S L. 2004. Trace element geochemistry of the Lower Cambrian black rock series from northwestern Hunan, South China[J]. *Progress in Natural Science*, 14(1):51~58.
- Pan Jiayong, Ma Dongsheng, Xia Fei, *et al.* 2005. study on nickel and molybdenum minerals in Ni-Mo sulfide layer of the lower Cambrian black rock series, northwestern Hunan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 25(3):285~288(in Chinese with English abstract).
- Peng Jun, Xia Wenjie and Yi Haisheng. 1999. Geological and geochemical characteristics and analysis of genesis of the Gongxi barite deposit, Xinhuang County, Hunan Province[J]. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 26(1):92~96(in Chinese with English abstract).
- Sun Guoxi, Hu Wenxuan, Hu Shouxi, *et al.* 2002. Rare-earth minerals in the gold-bearing quartz vein in the Rushan gold deposit in east China and their significances[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 38(3):446~456(in Chinese with English abstract).
- Song Tianrui, He Zhengjun, Wan Yusheng, *et al.* 2003. Discovery of authigenic monazite in Precambrian sedimentary rocks and its significance[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(1):118~124(in Chinese with English abstract).
- Steiner M, Wallis E, Erdtmann B D, *et al.* 2001. Submarine-hydrothermal exhalative ore layers in black shales from South China and associated fossils—insights into a Lower Cambrian facies and bio-evolution[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 169:165~191.
- Wu Chaodong, Yang Chengyun and Chen Qiyang. 1999. The origin and geochemical characteristics of Upper Sinian-Lower Cambrian black shales in western Hunan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(1):26~38(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹双林, 潘家永, 马东升, 等. 2004. 湘西下寒武统黑色页岩微量元素地球化学[J]. *矿物学报*, 24(4):415~419.
- 丁佑良, 李有禹. 1997. 湘西北镍钼多金属矿床的元素组合及微量元素地球化学[J]. *湖南地质*, 16(2):98~100.
- 方维萱, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 2002. 大河边-新晃超大型重晶石矿床地球化学特征及形成的地质背景[J]. *岩石学报*, 18(2):247~256.
- 洪文兴, 朱祥坤. 2000. 独居石微粒微区成分分布的研究[J]. *高校地质学报*, 6(2):167~172.
- 罗泰义, 张欢. 2003. 遵义牛蹄塘组黑色岩系中多元素富集层的主要矿化特征[J]. *矿物学报*, 23(4):296~302.
- 毛景文, 张光弟, 杜安道, 等. 2001. 遵义黄家湾镍钼铂族元素矿床地质、地球化学和 Re-Os 同位素年龄测定——兼论华南寒武系底部黑色页岩多金属成矿作用[J]. *地质学报*, 75(2):234~243.
- 潘家永, 马东升, 夏菲, 等. 2005. 湘西北下寒武统镍-钼多金属富集层镍与钼的赋存状态研究[J]. *矿物学报*, 25(3):285~288.
- 彭军, 夏文杰, 伊海生. 1999. 湖南新晃贡溪重晶石矿床地质地球化学特征及成因分析[J]. *成都理工学院学报*, 26(1):92~96.
- 孙国曦, 胡文瑄, 胡受奚, 等. 2002. 胶北乳山金矿含金石英脉中稀土矿物的发现及其意义[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 38(3):446~456.
- 宋天锐, 和政军, 万渝生, 等. 2003. 前寒武纪沉积岩中自生独居石的发现及其意义[J]. *沉积学报*, 21(1):118~124.
- 吴朝东, 杨承运, 陈其英. 1999. 湘西黑色岩系地球化学特征和成因意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 18(1):26~38.